



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων

Ενότητα 4: Πρωτοβάθμια Επεξεργασία Αστικών
Υγρών Αποβλήτων

Κορνάρος Μιχαήλ
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Στόχος

- Μία διεργασία φυσικού διαχωρισμού των **αιωρούμενων στερεών**, που γίνεται με *καθίζηση ή επίπλευση*



Πρωτοβάθμια Καθίζηση

- Η πρωτοβάθμια καθίζηση απομακρύνει τα αιωρούμενα στερεά μεγέθους 0,1 έως 0,001 mm.
- Η απομάκρυνση αυτή οδηγεί σε μείωση και του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BAO), μια και αυτό εν μέρει οφείλεται σε αδιάλυτα οργανικά συστατικά.
- Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης τυπικά αφαιρούν το 50-70% των αιωρούμενων στερεών και το 25-40% του BAO₅

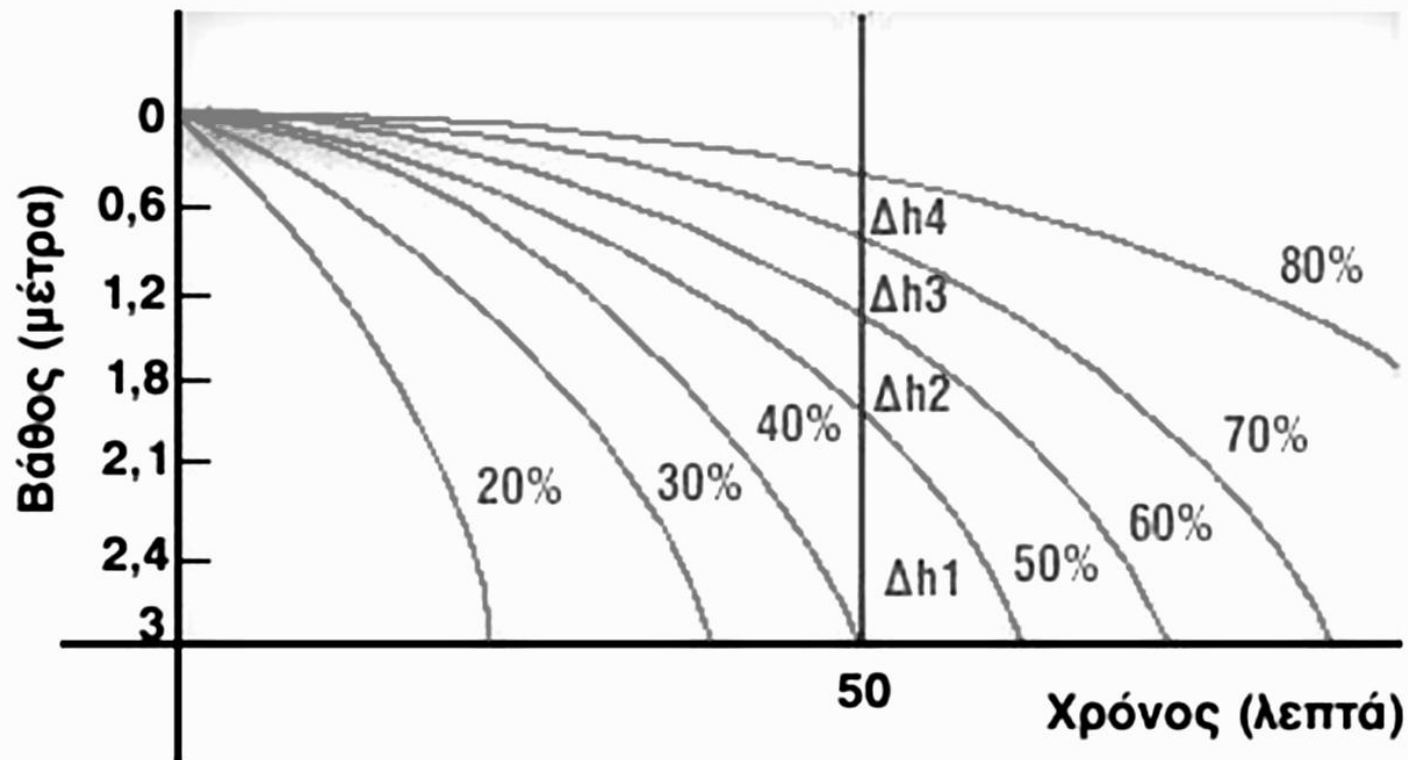


Πρωτοβάθμια Καθίζηση

- Το κύριο χαρακτηριστικό του τύπου αυτού καθίζησης, είναι ότι τα σωματίδια **συσσωματώνονται** καθώς καθιζάνουν, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ταχύτητά τους μια και αυξάνεται το μέγεθός τους (σύμφωνα με τον νόμο του Stokes).
- Ο **σχεδιασμός** βασίζεται σε πειράματα καθίζησης σε στήλη βάθους, ίσου με το βάθος της προς σχεδιασμό δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης (συνήθως 3m).



Σχεδιασμός



Σχεδιασμός

Με τη βοήθεια αυτού του διαγράμματος, κατασκευάζονται σχήματα απομάκρυνσης-χρόνου για το βάθος που ενδιαφέρει (3m) απομάκρυνσης-επιφανειακής φόρτισης (δηλαδή του λόγου της παροχής προς την επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης), με την ακόλουθη διαδικασία

Η ποσοστιαία απομάκρυνση για $t=50$ min υπολογίζεται από το Σχήμα ως εξής:

$$\begin{aligned} & \frac{3}{3} \times 40\% + \left(\frac{3 - \frac{\Delta h_1}{2}}{3} \right) \times 10\% + \left(\frac{3 - \Delta h_1 - \frac{\Delta h_2}{2}}{3} \right) \times 10\% + \\ & + \left(\frac{3 - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \frac{\Delta h_3}{2}}{3} \right) \times 10\% + \left(\frac{3 - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \Delta h_3 - \frac{\Delta h_4}{2}}{3} \right) \times 10\% = \\ & = 60\% \end{aligned}$$



Σχεδιασμός

$$\begin{aligned} & \frac{3}{3} \times 40\% + \left(\frac{3 - \frac{\Delta h_1}{2}}{3} \right) \times 10\% + \left(\frac{3 - \Delta h_1 - \frac{\Delta h_2}{2}}{3} \right) \times 10\% + \\ & + \left(\frac{3 - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \frac{\Delta h_3}{2}}{3} \right) \times 10\% + \left(\frac{3 - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \Delta h_3 - \frac{\Delta h_4}{2}}{3} \right) \times 10\% = \\ & = 60\% \end{aligned}$$



Σχεδιασμός

Το ποσοστό αυτό απομάκρυνσης αντιστοιχεί σε επιφανειακή φόρτιση

$$v_c = \frac{3 \text{ m}}{50 \text{ min}} = \frac{3 \text{ m}}{\frac{5}{6} \text{ h}} = \frac{3 \text{ m}}{\frac{5}{6} \cdot \frac{1}{24} \text{ d}} = 86,4 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

Επαναλαμβάνουμε τον ίδιο υπολογισμό για διάφορους χρόνους και κατασκευάζουμε τα διαγράμματα της απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών συναρτήσει του χρόνου παραμονής και της επιφανειακής φόρτισης, αντίστοιχα.



Σχεδιασμός

- Από τα δύο διαγράμματα, μπορούμε να υπολογίσουμε **για κάποια επιθυμητή απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών**,
 - τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής και
 - την αντίστοιχη επιφανειακή φόρτιση,
 - εξ ου και την ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια.
- Για ασφάλεια, πολλαπλασιάζουμε τον χρόνο παραμονής
- (και αντίστοιχα διαιρούμε την μέγιστη επιφανειακή φόρτιση)
- με έναν **συντελεστή ασφαλείας** 1,25-1,75.
- Τέλος, προσδιορίζονται και οι συγκεντρώσεις της λάσπης συναρτήσει του χρόνου παραμονής με βάση το διάγραμμα



Σχεδιασμός

- Ελλείψει πειραματικών δεδομένων ο σχεδιασμός γίνεται με:
 - χρόνο παραμονής 1,5-2,5 h και
 - επιφανειακή φόρτιση 80-120 m³/m²d για την μέγιστη παροχή και 32-48 m³/m²d για την μέση παροχή.
- Απ' αυτά υπολογίζεται το εμβαδόν και το βάθος.
- Το βάθος πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,8 m για αποφυγή προβλημάτων όταν έχει αέρα.



Σχεδιασμός

- Η φόρτιση του υπερχειλιστή πρέπει να είναι 125-500 m³/m μήκους/d

Υπολογίζεται η μάζα των ΑΣ της λάσπης και η παροχή της.

- Η μάζα υπολογίζεται με βάση τα εισρέοντα και το επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσής τους και
- η παροχή Q_λ (σε m³/d) από την σχέση:

$$Q_{\lambda} = \frac{M}{1000 \cdot c_{\lambda} \cdot s}$$

όπου:

c_λ: η συγκέντρωση στερεών της ιλύος (από το πειραματικό διάγραμμα του Σχήματος)

M η μάζα των απομακρυνόμενων στερεών, kg/d

s η ειδική βαρύτητα της ιλύος (τυπικά 1,02)



Παράδειγμα

- Σχεδιάσατε δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης που να απομακρύνει 60% των ΑΣ.
- Θεωρήσατε παροχή $Q=4.500 \text{ m}^3/\text{d}$, συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών 300 mg/L και τα πειραματικά δεδομένα



Λύση

- Από τα δεδομένα κατασκευάζουμε τις δύο καμπύλες:
 - απομάκρυνσης – χρόνου παραμονής
 - απομάκρυνσης – επιφανειακής φόρτισης



Λύση

(α) Από τα πειραματικά διαγράμματα βρίσκουμε:

- επιφανειακή φόρτιση $q = 84 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, διαιρούμε και με συντελεστή ασφάλειας $1,75 = 48 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, και
- χρόνος παραμονής θ : 51 min (πολλαπλασιάζουμε με $1,75$) $= 89 \text{ min}$



Λύση

(β). Για κυκλική δεξαμενή με μέγιστη παροχή $Q=4.500 \text{ m}^3/\text{d}$ έχουμε:

$$A = \frac{Q}{q} = \frac{4.500}{48} = 93.75 \text{ m}^2$$

που ισοδυναμεί σε κυκλική επιφάνεια με διάμετρο:

$$d = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \approx 11 \text{ m}$$

Δεδομένης της επιφάνειας βρίσκουμε έπειτα το βάθος. Πρώτα ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής είναι:

$$V = Q \cdot \theta = 4.500 \text{ m}^3 / \text{d} \times 89 \text{ min} = 4.500 \times \frac{89}{1.440} = 278 \text{ m}^3$$

εξ' ου το βάθος είναι:

$$H = \frac{V}{A} = \frac{278 \text{ m}^3}{93,75 \text{ m}^2} = 3 \text{ m}$$



Λύση

(γ) Υπολογίζεται η φόρτιση του υπερχειλιστή:

$$\text{Μήκος} = \pi \cdot d = 3,14 \times 11 = 34,5 \text{ m}$$

$$\text{Φόρτιση} = \frac{4.500 \text{ m}^3 / d}{34,5 \text{ m}} = 130 \text{ m}^3 / \text{m} \cdot d$$

Η οποία είναι στα επιθυμητά όρια (125-500).



Λύση

(δ) Υπολογίζονται τα στοιχεία της λάσπης (με $A\Sigma=300 \text{ mg/L}$ (στην εισροή)).

Η μάζα είναι 60% του

$$4.500 \text{ m}^3 / \text{d} \times 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 810 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Τότε η παροχή δίνεται από

$$Q_\lambda = \frac{M}{1000c_\lambda \cdot s}$$

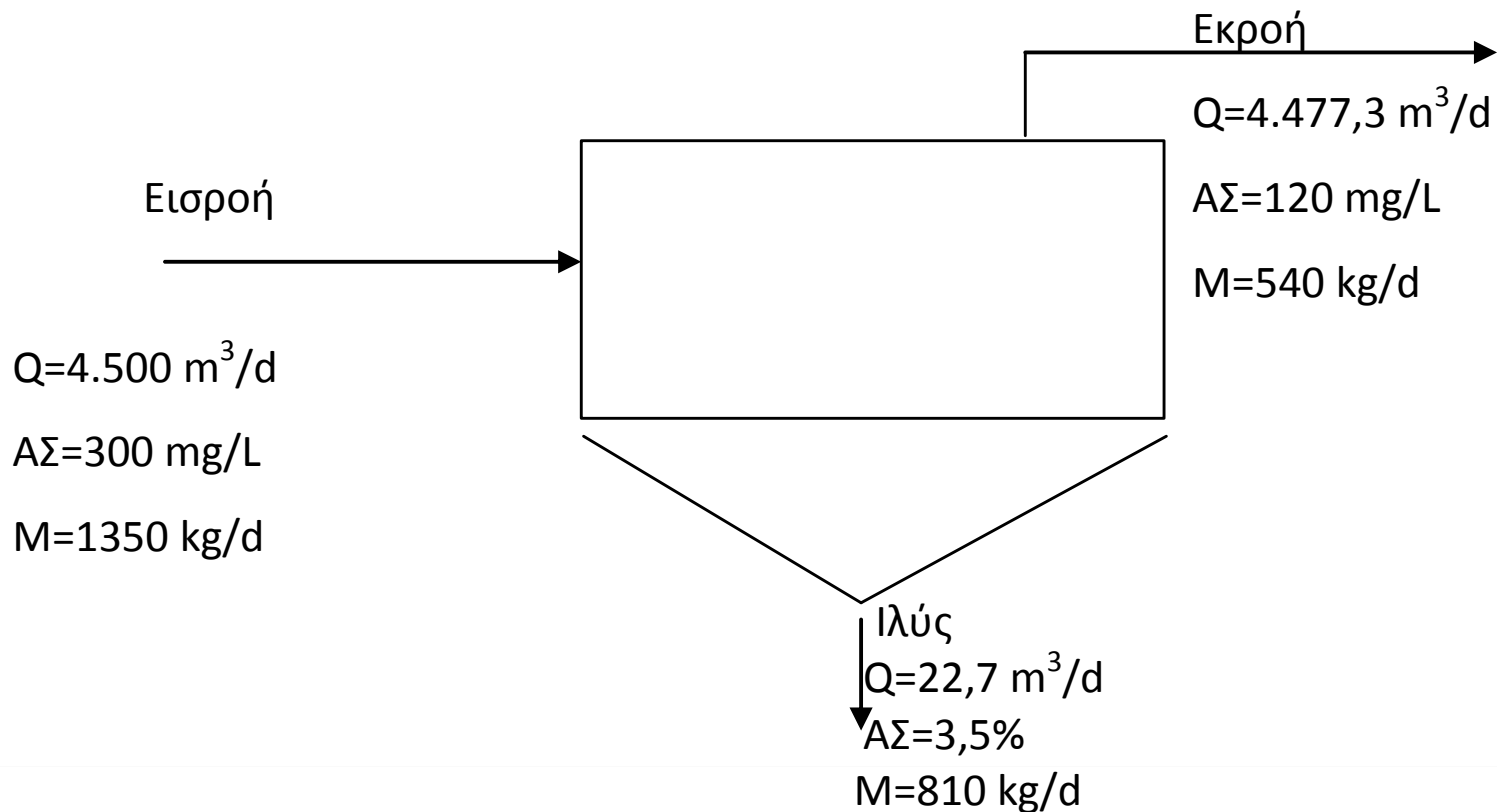


Λύση

Το c_λ από το διάγραμμα ιλύος για $\theta=89$ min είναι $\sim 3.5\%$. Τότε αν $s=1,02$:

$$Q_\lambda = \frac{810 \text{ kg/d}}{0,035 \times 1000 \times 1,02} = 22,7 \text{ m}^3/\text{d}$$

Το ισοζύγιο μάζας τότε είναι:



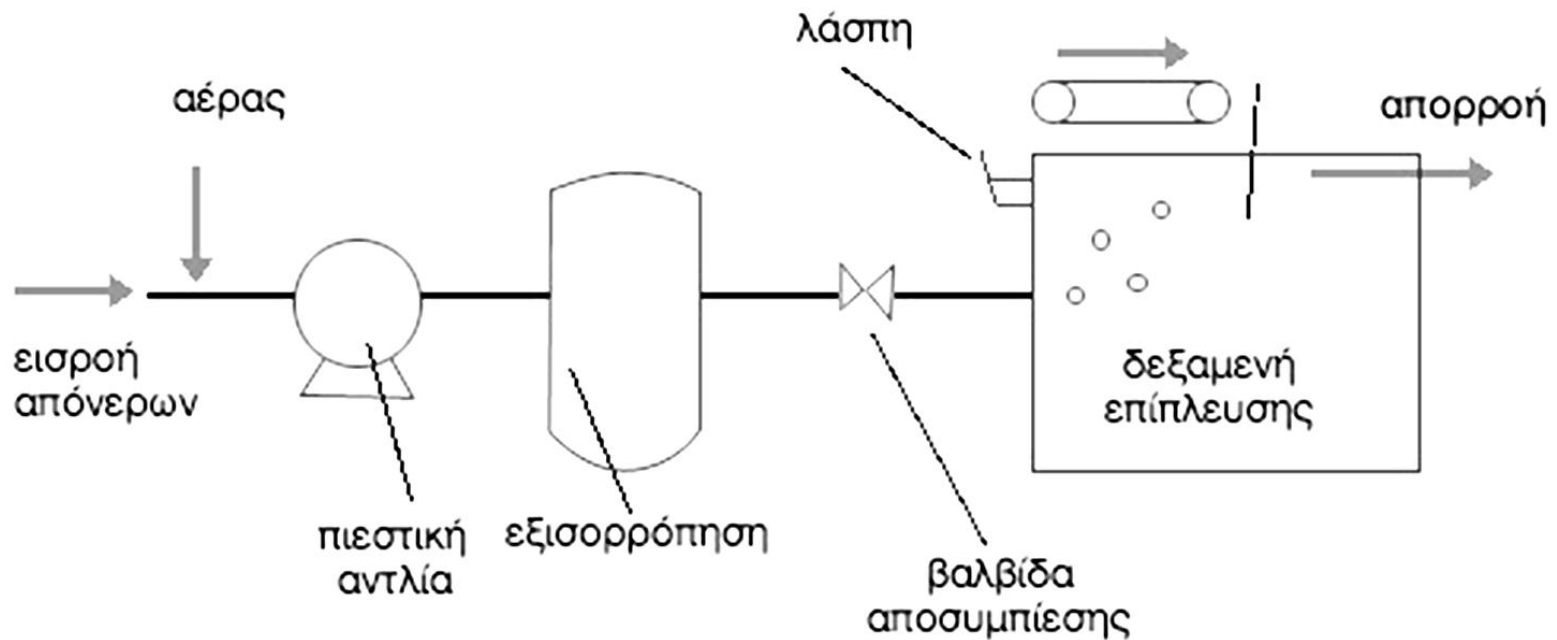
Επίπλευση

- Φυσαλίδες αέρα συσσωματώνονται με τα στερεά σωματίδια μειώνοντας την πυκνότητά τους σε μία αποτελεσματική πυκνότητα κάτω από εκείνη του νερού, προκαλώντας έτσι επίπλευση (κίνηση προς τα πάνω) μια και η άνωση υπερβαίνει την βαρύτητα.
- Η επίπλευση επαυξάνει επίσης την ταχύτητα ανόδου σωματιδίων ελαφρότερων του νερού.

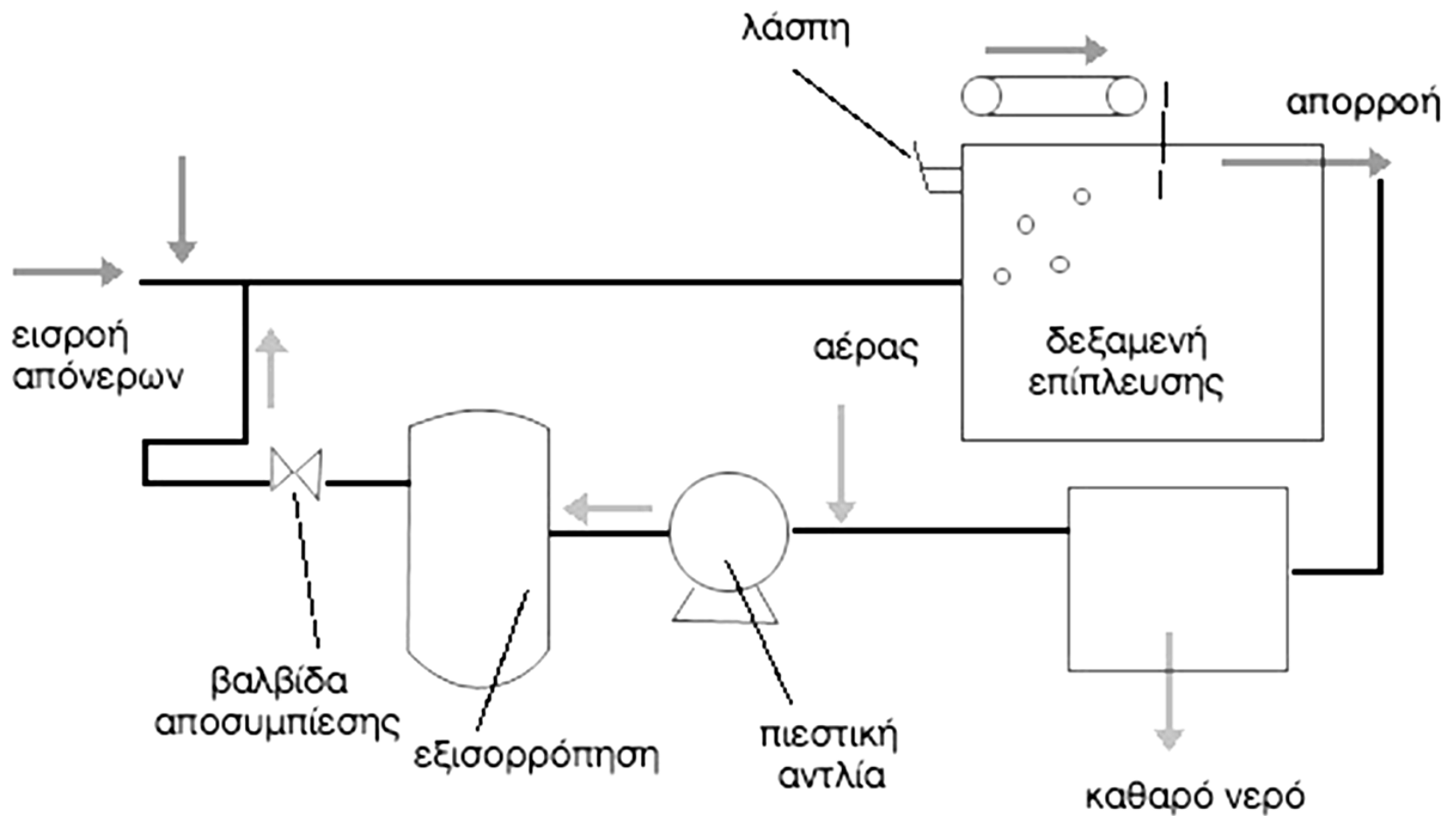


Επίπλευση διαλυμένου αέρα

- Αερίωση υπό πίεση, ακολουθούμενη από πτώση της πίεσης για δημιουργία φυσαλίδων



Επίπλευση με ανακυκλοφορία

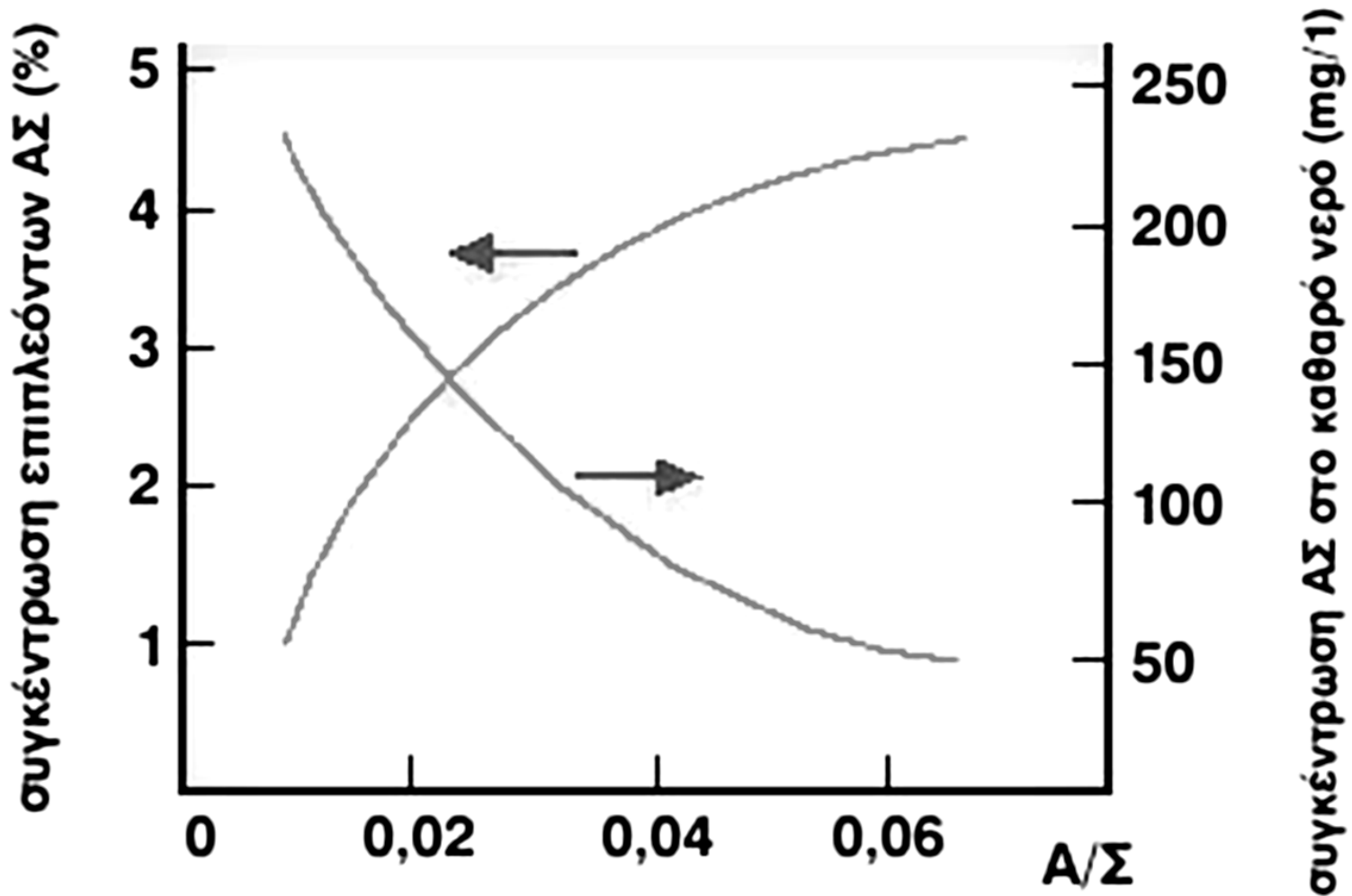


Σχεδιασμός επίπλευσης

- Αρχικά προσδιορίζεται πειραματικά η ταχύτητα ανόδου u των στερεών
- Η απόδοση των συστημάτων επίπλευσης κυρίως εξαρτάται από τον λόγο της παρεχόμενης μάζας αέρα/ μάζα στερεών (A/Σ).
- Τυπικές τιμές A/Σ είναι 0,005-0,060
- Από πειραματικά προσδιοριζόμενο για το συγκεκριμένο απόβλητο διάγραμμα βρίσκεται ένα κατάλληλο A/Σ που να επιτυγχάνει την επιθυμητή μείωση $A\Sigma$ στο απόβλητο



Σχεδιασμός Επίπλευσης



Σχεδιασμός Επίπλευσης

Από το A/Σ προσδιορίζεται η απαιτούμενη πίεση P , χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$A/\Sigma = \frac{1,3 \delta_{\alpha} (fP - 1)}{\sigma_{A\Sigma}}$$

όπου δ_{α} : η διαλυτότητα αέρα σε νερό (σε mL/L).
Στους 20°C είναι 18,7.

- $\sigma_{A\Sigma}$: η συγκέντρωση στερεών σε mg/L
- 1,3 : το βάρος σε mg ενός mL αέρα
- f : συντελεστής διόρθωσης για μη πλήρη κορεσμό (συνήθως 0,5~0,8)



Σχεδιασμός Επίπλευσης

Από την παροχή και την ταχύτητα ανόδου των στερεών, προσδιορίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια:

$$A = \frac{Q}{u}$$

Στη συνέχεια προσδιορίζεται η φόρτιση στερεών F :

$$F = \frac{Q \sigma_{ΑΣ}}{A}$$

και ελέγχεται αν είναι μικρότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης $260 \text{ kg/m}^2 \text{d}$



Χημική Κατακρήμνιση (υποβοηθούμενη)

- Υπέρβαση των απωστικών ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ των κολλοειδών, οδηγώντας τα σε συσσωμάτωση (coagulation) και κροκίδωση (flocculation) ούτως ώστε να βελτιώνεται η κατακρήμνιση



Η χημική κατακρήμνιση χρησιμοποιείται:

- (α) για **βελτίωση** απόδοσης δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης.
- Τυπικά επιτυγχάνονται βελτιωμένες αποδόσεις στην απομάκρυνση ΑΣ, στην μείωση του ΒΑΟ5 και των βακτηρίων:
 - 80-90% ΑΣ έναντι 50-70% ΑΣ χωρίς χημικά
 - 70-80% ΒΑΟ5 έναντι 25-40% ΒΑΟ5 χωρίς χημικά
 - 80-90% βακτήρια έναντι 25-75% βακτήρια χωρίς χημικά
- (β) ως ανεξάρτητο στάδιο **φυσικοχημικής επεξεργασίας** και
- (γ) για απομάκρυνση **φωσφόρου** (τριτοβάθμια επεξεργασία).



Συνήθη χημικά

- (α) θεικό αλουμίνιο $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
- (β) θεικός σίδηρος II $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- (γ) υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- (δ) χλωριούχος σίδηρος III FeCl_3
- (ε) θεικός σίδηρος III $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$



Κολλοειδή

- Τα **κολλοειδή** είναι υλικά (στερεά, υγρά και αέρια) που έχουν διαχυθεί σ' ένα μέσο στην μορφή λεπτών σωματιδίων (~ 200 nm).
- Τα κολλοειδή είναι υδρόφιλα ή υδρόφοβα και στα απόβλητα είναι συνήθως αρνητικά φορτισμένα εξαιτίας:
 - (α) επιλεκτικής προσρόφησης ανιόντων (κυρίως υδροξείδια)
 - (β) ιονισμού καρβοξυλομάδων και αμινομάδων πρωτεϊνών, και
 - (γ) ισόμορφης αντικατάστασης ιόντων.



Συνήθεις μηχανισμοί

- (α) εξουδετέρωση φορτίου από αντίθετα ιόντα, π.χ. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$,
- (β) μείωση δυναμικού ζ, π.χ. NaCl ,
- (γ) προσθήκη οργανικών πολυηλεκτρολυτών που προσροφούν ή γεφυρώνουν τα επιμέρους κολλοειδή σωματίδια,
- (δ) προσθήκη ιόντων που ελαττώνουν το ηλεκτρικό φορτίο (οξέα ή βάσεις), και
- (ε) μηχανισμός σαρώσεως (από αδιάλυτα υδροξείδια μετάλλων).



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0.0**.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών. Αναπληρωτής Καθηγητής, Μιχαήλ Κορνάρος. «Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, Πρωτοβάθμια Επεξεργασία Αστικών Υγρών Αποβλήτων». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.